

Б.Н.ЗАРОВНЯЕВ, Г.О.КИПРИАНОВ, В.С.СОРОКИН
Якутский государственный университет,
Мирный, Россия

ОСОБЕННОСТИ ВЗРЫВНОГО РАЗРУШЕНИЯ ВСКРЫШНЫХ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГОРНЫХ ПОРОД

Большинство угольных месторождений Якутии, разрабатываемых открытым способом, отличаются благоприятными горно-геологическими условиями: горизонтальное залегание пластов, сравнительно небольшая мощность покрывающих пород, расположение месторождений близко к населенным пунктам, высокое качество углей и др. Однако проведение горных работ значительно осложняется суровым климатом и многолетнемерзлым состоянием горного массива.

Для подготовки горных пород к выемочно-погрузочным работам широко применяется буровзрывной способ как наиболее эффективный и обеспечивающий высокую производительность карьерного оборудования. При проектировании буровзрывных работ учитываются такие геокриологические особенности, как: 1) превращение увлажненных пород осадочного происхождения в прочно армированные монолиты при отрицательной температуре за счет цементирующего действия льда; 2) круглогодичное сохранение минусовой температуры, $-(2-12)^\circ\text{C}$, в

породном массиве ниже деятельного слоя; 3) оттаивание пород в верхней части уступов и появление надмерзлотных вод в теплое время года; 4) зависимость физико-механических свойств разрушаемых пород от дисперсности минеральных частиц и количества льда-цемента.

Практикой буровзрывных работ доказано значительное влияние вязкопластических свойств мерзлых пород на разрушаемость их энергией взрыва, проявление которых обусловлено присутствием льда-цемента и незамерзшей воды.

Как известно, в результате детонации ВВ возникают ударная волна, волны напряжения и разряжения в породном массиве, а также создаются высокие давления продуктов детонации. При взаимодействии с окружающей средой физико-механические свойства мерзлых пород влияют на эффективность работы взрыва. Для установления физической сущности процессов, происходящих в ближней зоне взрыва, были проведены лабораторные эксперименты по разрушению моделей в мерзлом состоянии. Для имитации многолетнемерзлых рыхлых отложений, являющихся покрывающими породами многих месторождений осадочного происхождения, использовались песчано-глинистые смеси соответствующего состава.

При моделировании действия взрыва в мерзлой породе решались две задачи: 1) раскрытие механизма развития пластических деформаций и уплотнения мерзлой породы в ближней зоне взрыва; 2) изучение дробимости мерзлой породы по энергозатратам на образование единицы поверхности продуктов разрушения.

Размеры взрывной полости r_n и толщина уплотненного слоя вокруг заряда $r_{y.c}$ изменялись в зависимости от дисперсности частиц разрушаемой породы и температуры. Например, в суглинке при -3°C $r_n = 5r_3$, и $r_{y.c} = 8r_3$ (где r_3 – радиус заряда). В то же время по данным экспериментальных исследований, проведенных некоторыми авторами в крепких горных породах, радиус взрывной полости не превышает $(2-3)r_3$, а сведения об образовании уплотненного слоя отсутствуют. Своеобразие деформирования мерзлой породы при взрыве обусловлено более интенсивным взаимным перемещением минеральных частиц и микродроблением кристаллов льда, а также их плотной упаковкой за счет выдавливания воды из пор.

Таким образом, наличие в составе мерзлых пород порового льда и незамерзшей воды, а также их склонность к структурно-необратимой деформации приводят к значительным потерям энергии взрыва в ближней зоне.

По результатам второй серии экспериментов были сделаны следующие выводы: 1) с увеличением содержания глинистых частиц в материале модели энергоемкость разрушения возрастает, а качество дробления снижается; 2) наибольшие значения удельной поверхностной энергии разрушения мерзлых пород различного гранулометрического состава наблюдаются в диапазоне температур $0^\circ\text{C} < t < -3^\circ\text{C}$, т.е. при переходе пород в пластично-мерзлое состояние.

Насчитывается более 20 потенциально возможных параметров взрывных работ, в той или иной степени влияющих на качество дробления мерзлых пород, но главенствующим из них является удельный расход ВВ. С целью объективной оценки взрываемости осадочных горных пород, имеющих искусственную монолитность за счет цементирующего действия льда, в первую очередь должен учитываться температурный режим породного массива. Как указано выше, при небольших значениях минусовой температуры разрушаемость рыхлых пород ухудшается из-за повышения их вязкости и пластичности, а с понижением температуры они становятся более хрупкими, что приводит к уменьшению затрат энергии взрыва на пластические деформации. Длительный опыт буровзрывных работ в условиях многолетней мерзлоты показывает, что удельный расход ВВ при взрывании высокоглинистых мерзлых пород, имеющих температуру $-(1-3)^\circ\text{C}$, составляет почти $1,0 \text{ кг/м}^3$, а при понижении температуры до -10°C и ниже – не более $0,6 \text{ кг/м}^3$.

Криогенная текстура, определяемая количеством льда и его распределением, оказывает заметное влияние на взрываемость осадочных связных пород. При взрывании мерзлых пород, имеющих массивную и шлировую текстуру, требуется увеличение удельного расхода ВВ. Влияние трещинной криотекстуры проявляется в снижении разрушающего действия волн напряжений, так как они частично гасятся за счет отражения от ледяных линз и прослоек. Лыдо-

насыщенность породного массива будет увеличиваться в том случае, если образуется базальная текстура. Здесь увеличение удельного расхода ВВ не обеспечивает желаемого результата дробления пород, так как происходит быстрое растрескивание по льду-наполнителю с образованием крупных отдельностей.

Взрываемость мерзлых пород также зависит от содержания глинистой компоненты. С повышением дисперсности минеральных частиц увеличивается количество так называемой «незамерзшей воды», которая обладает ярко выраженными вязкими свойствами. Для установления влияния этого фактора производилось простреливание шпуровых и скважинных зарядов ВВ в производственных условиях. В результате выполненных экспериментов получены данные, свидетельствующие о высоком показателе простреливаемости мерзлых пород, содержащих примеси глины более 25 %. В этом случае удельный расход ВВ повышается до $1,0 \text{ кг/м}^3$.

Таким образом, с использованием указанных критериев были разработаны основные предпосылки для составления классификации многолетнемерзлых вскрышных пород по взрываемости. Из выделенных четырех групп мерзлых пород к весьма трудно взрываемым отнесены глинистые слабые песчаники, суглинки и пылевато-илистые отложения со значением удельного расхода ВВ $0,8-1,0 \text{ кг/м}^3$.

При определении оптимальных параметров взрывных работ в производственных условиях следует исходить из радиусов зон эффективного разрушения мерзлого породного массива.

Вкратце рассмотрим результаты исследований некоторых авторов по определению размеров и формы зоны разрушения в различных условиях. В работах [3,5] доказано, что при взрыве скважинного заряда диаметром 214 мм радиус зоны дробления составил в направлении минимальной частоты трещин 7,5 м, а в направлении максимальной частоты трещин 5,4 м, что соответствует $70r_3$ и $50r_3$. В то же время при взрывании обводненных пород эти радиусы увеличиваются на 10-20 %.

Для определения зоны разрушения был применен метод бурения контрольных скважин с отбором керна [6]. О степени нарушенности породного массива судят по средневзвешенной величине кусков керна, полученного при бурении контрольных скважин на различном расстоянии от оси взрывной скважины. Средний радиус зоны дробления при взрыве камуфлетного заряда в крепких горных породах уменьшается в значительной степени и не превышает $9r_3$, а радиус зоны интенсивного трещинообразования достигает $18r_3$.

Радиус зоны дробления при взрывании вертикальных зарядов на моделях, имитирующих трещиноватый массив горных пород [1], составляет $(50-55)r_3$, при этом зона дробления имеет крестообразную форму.

В работе [4] для определения размеров и формы зоны разрушения массива вокруг скважинного заряда применялся метод гамма-гамма каротажа, основанный на зависимости рассеянного и поглощенного гамма-излучения от объемной плотности среды. В результате этих исследований выявлено, что форма зоны разрушения перпендикулярно оси заряда имеет вид эллипса, вытянутого в направлении минимальной частоты трещин.

Для определения зоны разрушения при взрыве скважинных зарядов в различных по литологическому составу и строению многолетнемерзлых вскрышных породах нами применялся сейсмический метод как отличающийся оперативностью и более достоверными результатами.

Экспериментальные работы проводились на Кангаласском угольном разрезе, вскрышные породы которого представлены многолетнемерзлыми слабосцементированными песчаниками с прослойками глины и включением небольшого количества щебеночно-галечного материала. При взрыве одиночных скважинных зарядов диаметром 160 мм на первом вскрышном уступе радиус зоны интенсивного дробления составил от 2,5 до 3,0 м, или от 30 до $36r_3$. Размеры общей зоны разрушения изменяются от 7,2 до 8,0 м, что составляет $(90-100)r_3$. При взрывании взаимодействующих скважинных зарядов диаметром 230 мм зона интенсивного дробления увеличивается и составляет 4,5 м, или $39r_3$. Оптимальная линия сопротивления по подошве уступа равна 6-7 м, или $(52-60)r_3$.

При проведении опытных работ на вскрышном уступе россыпного месторождения «Бургуаат» комбината «Куларзолото», представленном многолетнемерзлыми илистыми торфами, оптимальные размеры зоны разрушения взаимодействующих скважинных зарядов диаметром 115 мм составили от 3,5 до 4,0 м, или $(60-70)r_3$, а линия сопротивления по подошве уступа – 3 м, или $52r_3$.

Для определения зоны разрушения в мерзлых скальных породах с хорошо развитой трещиноватостью на вскрышных уступах Нерюнгринского угольного разреза были проведены экспериментальные взрывы одиночных и взаимодействующих скважинных зарядов разной конструкции. Методика проведения опытных работ приведена в работе [2]. При взрыве одиночных скважинных зарядов диаметром 244 мм радиус зоны дробления в среднем составил 3,0 м, или $25r_3$. Причем форма зоны дробления была близка к цилиндрической, т.е. мало зависела от пространственного расположения и частоты трещин. Размеры общей зоны разрушения, включая и зону трещинообразования, достигает 4 м, или $32r_3$, постепенно увеличиваясь в верхней части уступа до 5 м. Отдельные трещины при взрыве одиночных зарядов распространяются от оси скважины на расстояние более 5 м.

По приведенным данным можно сделать следующие выводы: 1) для определения размеров зон разрушения при взрыве скважинных зарядов в мерзлом породном массиве наиболее приемлемым способом является сейсмический; 2) в многолетнемерзлых слабосцементированных осадочных породах наблюдается некоторое увеличение разрушающего действия заряда, как и в обводненных породах, так как волны напряжений распространяются с меньшими потерями энергии; 3) при разрушении вскрышных пород Нерюнгринского угольного разреза, отличающихся сильно развитой трещиноватостью, размеры зоны дробления уменьшились в связи с увеличением потерь энергии волн напряжений за счет экранирующего действия трещин.

ЛИТЕРАТУРА

1. Галимулин Б.Г. Изучение формы и размеров объема дробления при взрывании трещиноватой среды / Б.Г.Галимулин, Ю.Л.Благодаренко, А.Ф.Карпинский, Д.Ф.Панченко // Изв. вузов. Горный журнал. 1968. № 2. С. 99-103.
2. Добровольский Г.Н. Исследование зоны разрушения при взрыве скважинных зарядов в мерзлом массиве / Г.Н.Добровольский, В.С.Сорокин // Колыма. 1986. № 1. С. 14-16.
3. Репин Н.Я. Влияние обводненности породного массива на параметры зоны дробления / Н.Я.Репин, В.М.Семеновичев, В.К.Волбуев // Разработка угольных месторождений открытым способом. Кемерово, 1976. С. 125-131.
4. Репин Н.Я. Исследование размеров и формы зоны разрушения пород вокруг скважинных зарядов методом γ - γ -каротажа / Н.Я.Репин, И.А.Паначев, М.И.Потапов // Открытая добыча угля в Кузбассе: Сб. науч. тр. Кемерово, 1971. С. 104-110.
5. Репин Н.Я. К методике определения глубины зоны разрушения массива при взрывных работах / Н.Я.Репин, И.А.Паначев // ФТПРПИ. 1969. № 1. С. 117-120.
6. Трегубов Б.Д. Экспериментальные исследования камуфлетного взрыва удлиненных зарядов / Б.Д.Трегубов, Э.П.Таран, Я.А.Балагур // ФТПРПИ. 1981. № 6. С. 55-62.